

# EVOLUCIÓN DE ESTRUCTURA EN MASAS ORDENADAS DE *PINUS SYLVESTRIS* L. ENSAYO DE UN MODELO DESCRIPTIVO

Javier María García López

Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Castilla y León. Servicio Territorial de Burgos. c/ Juan de Padilla s/n. 09006 BURGOS

## 1. INTRODUCCIÓN

La estructura de una población arbórea viene definida, principalmente, por su distribución de frecuencias diamétricas, el reparto de los individuos que la componen en el espacio y la jerarquía que de ella se deriva. La curva de distribución diamétrica es un instrumento de gran interés por estar estrechamente relacionada con variables selvícolas tales como la edad de la masa, su volumen, densidad, área basimétrica, valor comercial, calidad de estación, crecimientos, etc., así como con la programación de diversos trabajos culturales propios de la gestión de un monte ordenado.

El seguimiento de la evolución en el tiempo de la estructura de una unidad superficial de masa, por ejemplo un rodal o un tramo, se ve normalmente limitado por la escasez de series diamétricas temporales suficientemente largas, completas o tomadas en condiciones que hagan posible su comparación, así como por el hecho de que las masas de que provengan hayan seguido una trayectoria selvícola homogénea y programada, sin grandes distorsiones como incendios o variaciones en las divisiones dasocráticas, y cuya aplicación haya surtido efectos tales que el estudio de dicha evolución tenga trascendencia en cuanto a las conclusiones que de ella se deriven.

Número de pies, área basimétrica, volumen o crecimientos a determinada edad nos

informan de aspectos meramente cuantitativos de la población. No es infrecuente que el gestor de un monte ordenado se sienta insatisfecho por los datos discretos propuestos en unas tablas de producción a las que intenta acercar lo más posible las poblaciones a su cargo. Pronto advierte que el comportamiento de sus masas procedentes de regeneración natural poco tiene que ver con el de las artificiales (éstas últimas más estudiadas), y, sobre todo, que sin un conocimiento interno de la estructura de la población se trabaja a ciegas.

La modelización del comportamiento de la masa en sus aspectos no solo cuantitativos, sino cualitativos, deberá imponerse en el futuro como forma de conocimiento y herramienta de actuación para el forestal.

Se exponen a continuación los resultados del ensayo de un modelo de evolución de estructura en una masa natural de *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Central (Segovia), como continuación a algunos estudios nuestros previos para masas de primera calidad únicamente (GARCÍA LÓPEZ, 1993a & 1993b).

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

Los datos de partida proceden del monte «Pinar de Navafría», número 198 del Catálogo de Montes de Utilidad Pública de Segovia, propiedad de la Comunidad de

Villa y Tierra de Pedraza, en los términos municipales de Torreval de San Pedro, Navafría y Aldealengua de Pedraza. La trayectoria selvícola de este monte es bien conocida desde su ordenación en el siglo pasado (CASTRO, 1895), habiendo sido objeto de diversos estudios correspondientes a distintas disciplinas como la ordenación de montes (MARTÍNEZ DE PISÓN, 1948; SAÍNZ MARGARETO, 1963; GARCÍA LÓPEZ, 1994), inventariación forestal (MADRIGAL, 1969; PITA, 1973) o geomorfología (MARTÍN DUQUE, 1992), entre otros.

El monte está situado en la vertiente septentrional del tramo central de la Sierra de Guadarrama, en la cabecera del río Cega. Su superficie sujeta a ordenación es de 2760 hectáreas, de las cuales 2500 son arboladas, sobre laderas muy abruptas entre las cotas de 1300 y 2200 m, sustrato de granitos y gneises y subtipos fitoclimáticos de ALLUÉ-ANDRADE (1990) VI(IV)<sub>2</sub>, propio de bosques marcescentes (*Quercus pyrenaica* Willd.) en las partes bajas, VIII(VI), propio de tipos aciculifolios, (*Pinus sylvestris* L.) en las medias, y X(IX)<sub>2</sub> en las altas (piornales de *Cytisus oromediterraneus* y pastizales alpinos de *Festuca* gr. *indigesta*).

Se ha utilizado como material de partida los estadillos originales de conteo para amplitud de clase diamétrica de 1 cm de los inventarios correspondientes a las revisiones 5ª (SAÍNZ MARGARETO, 1959), 6ª (SAÍNZ MARGARETO, 1959), 7ª (FERRANDO, 1969), 8ª (FERRANDO, 1984) y 9ª (PRIETO & al., 1991) del inicial proyecto de ordenación. Los tramos estudiados fueron los I en sus calidades 1ª (5 tramos) y 3ª (2 tramos). El reducido número de tramos de 2ª calidad aconsejó estimar sus resultados a partir de los anteriores.

Para el ajuste de las series diamétricas se ha utilizado la función de Weibull, por su versatilidad, consistente en las variadas formas que es capaz de adoptar y su facilidad de manejo, por la sencillez de integración y derivación para el cálculo de los estadísticos de la distribución. SHIFLEY & LENTZ (1985) establecieron ecuaciones sencillas que relacionan los coeficientes de ajuste b y

c (escala y forma) de la función con su media y varianza, permitiendo calcularlos mediante un procedimiento abreviado al igual que BAILEY & DELL (1973). La fiabilidad de sus ajustes para parcelas experimentales de *Pinus sylvestris* en el Sistema Central ya fue puesta de manifiesto por ORTEGA (1989) en comparación con otras funciones de distribución, por lo que ha sido incluida en este trabajo como modelo de distribución diamétrica.

Presentada por FISHER & TIPPET (1928), la función de distribución de Weibull fue desarrollada posteriormente por WEIBULL (1939) en estudios sobre resistencia de materiales. Su aplicación forestal a las distribuciones diamétricas se debe principalmente a BAILEY & DELL (1973) y a HAFLEY & SCHREUDER (1977). Otras aplicaciones forestales de la función han sido desarrolladas por GLOVER & HOOL (1979) y SOMERS & al. (1979) para germinación de semillas, y por BAILEY (1980) para estudio de crecimiento de árboles individuales. También ha sido utilizada por CHEN & ROSE (1978) para distribuciones en altura y por CASTILLA & PRIETO (1992) como simulador de producción de *Pinus radiata*.

La informatización del proceso de ajuste de la función de Weibull a series diamétricas fue abordado principalmente por BAILEY (1974) y ZUTTER & al. (1982), este último para series truncadas por la izquierda, siendo el programa «WEIBULL» desarrollado en FORTRAN por este autor el que se ha utilizado en este trabajo.

La expresión de la función utilizada fue la siguiente:

$$f(dn) = (c/b) \cdot (dn/b)^{(c-1)} \cdot \exp(-((t/b)^c - (d/b)^c))$$

En donde:

- \* dn: Diámetro normal (cm.)
- \* t: Diámetro mínimo medido (20 cm.)
- \* b: Coeficiente de escala
- \* c: Coeficiente de forma

Para valores de c inferiores o iguales a 1 la función toma forma de curva en J invertida. Para valores hasta 3,6 toma la forma de

**Tabla 1.** Valores estimados de  $Dg_i$  (diámetro medio cuadrático de la masa inventariable),  $B_i$  (coeficiente de escala Weibull) y  $C_i$  (coeficiente de forma de Weibull) para las calidades  $i$ .

E	$Dg_1$	$Dg_3$	$B_1$	$B_3$	$C_1$	$C_3$
40	24,6	24,3	10,44	7,4	1,27	0,89
50	26,6	25,7	19,02	11,12	1,99	1,18
60	28,7	26,8	25,55	14,69	2,68	1,48
70	30,5	27,6	30,09	17,17	3,26	1,73
80	32,2	28,4	33,44	19,58	3,74	1,99
90	33,8	29,2	35,74	21,89	4,11	2,27
100	35,3	29,8	37,13	23,56	4,35	2,49

curvas en campana asimétricas por la izquierda y por la derecha para valores superiores. Para  $c=3,6$  se obtiene la Ley Normal de Gauss (masa regular teórica). Los valores crecientes de  $b$  desplazan las curvas en sentido de los diámetros crecientes.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Ajuste de la función de distribución diamétrica

La tabla 1 muestra los valores estimados de los coeficientes  $b$  y  $c$  resultantes del ajuste de la función de Weibull a las series diamétricas de los 7 tramos estudiados. Las ecuaciones de estimación  $b_i$  y  $c_i$  (calidad  $i$ ) en función del diámetro medio cuadrático de la masa ( $Dg$ ) son las siguientes:

\* Coeficiente  $b$  (fig. 1):

$$b_1 = -88,9473663.Dg^{0,5} + 23,8881.Dg - 0,222815.Dg^2 \quad R^2=0,99$$

$$b_3 = -60,764282.Dg^{0,5} + 15,536661.Dg - 0,121308.Dg^2 \quad R^2=0,95$$

\* Coeficiente  $c$  (fig. 2):

$$c_1 = 0,364412.b_1^{0,5} + 0,000253.b_1^{2,5} \quad R^2 = 0,99$$

$$c_3 = 0,307036.b_3^{0,5} + 0,000371.b_3^{2,5} \quad R^2 = 0,99$$

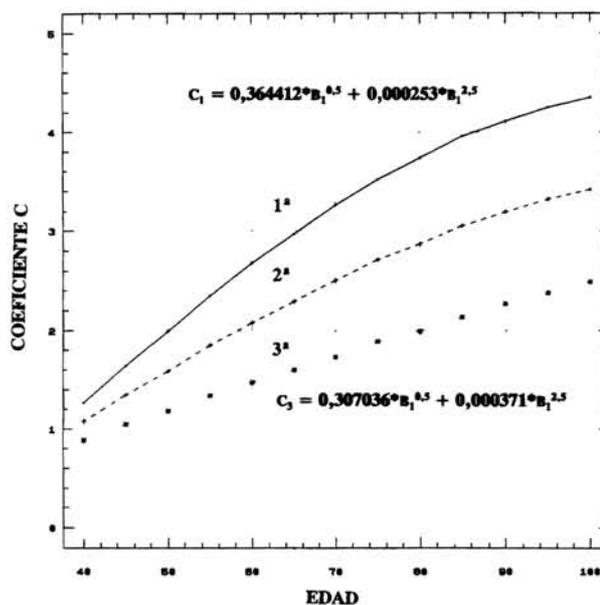


Figura 1. Evolución de los valores estimados del coeficiente  $c$  de Weibull en función de la edad de la masa y de la calidad.

La relación encontrada entre edad media de la masa ( $E_i$ ) y  $Dg$  fue la siguiente:

$$E_1 = 0,05312.Dg^{2,09727} \quad R^2 = 0,93$$

$$E_3 = 0,00123.Dg^{3,28865} \quad R^2 = 0,83$$

Ambas calidades parten de valores de  $Dg$  cercanos a 24 cm a los 40 años. La compensación que las menores densidades de regeneración en tramos de 3ª calidad producen en el menor crecimiento diamétrico, acelerándolo y acercándolo al de los tramos de 1ª calidad puede ser una explicación. A los 100 años, los valores de  $Dg$  son de aproximadamente 35 cm en 1ª calidad y 30 en 3ª (este último valor de  $Dg$  se produce en 1ª calidad alrededor de los 65 años de edad).

Los valores del coeficiente  $b$  estimados entre los 40 y los 100 años de edad varían entre 10,44 y 37,13 para la 1ª calidad, y entre 7,41 y 23,56 para la 3ª calidad (este último valor se daría en 1ª calidad entre los 55 y los 60 años).

Los valores del coeficiente  $c$  estimados entre los 40 y los 100 años de edad varían entre 1,27 y 4,35 para la 1ª calidad, y entre 0,89 y 2,49 para la 3ª calidad (este último valor se daría igualmente en 1ª calidad entre los 55 y los 60 años de edad).

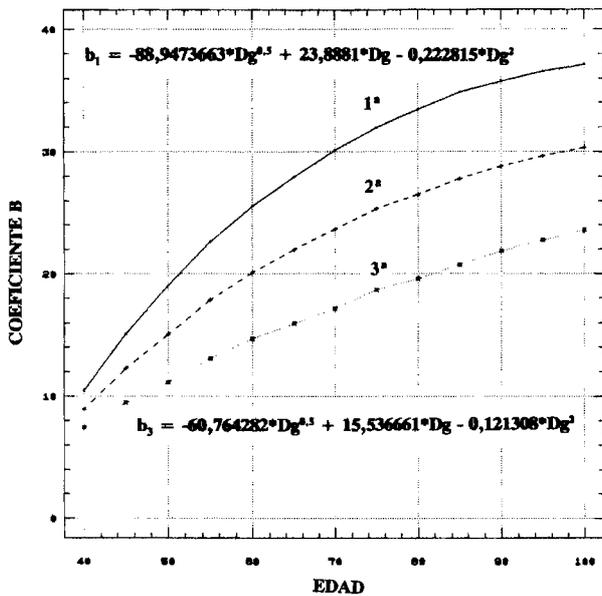


Figura 2. Evolución de los valores estimados del coeficiente b de Weibull en función de la edad de la masa y de la calidad.

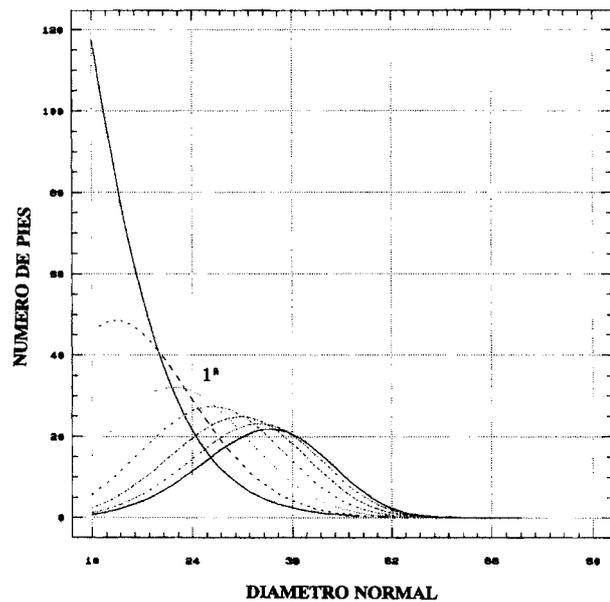


Figura 3. Familia de curvas de evolución de la estructura de la masa en función de la edad (40-100 años) para calidad 1ª.

En 1ª calidad los valores de c son inferiores a 3,6, y por tanto las curvas en campana asimétricas por la izquierda hasta los 75-80 años de edad, en que se daría la distribución teórica normal. A partir de ahí las campanas comienzan su asimetría creciente hacia la derecha. Para 3ª calidad la normalidad se retrasaría hasta cerca de los 120 años.

Como se puede apreciar, tanto en los valores de Dg como de b y c el retraso acumulado entre calidades extremas puede ser evaluado en 30-40 años en lo que respecta a la estructura relativa de la masa.

Las tempranas asimetrías hacia la izquierda denotan mayor pujanza en el crecimiento diamétrico de los extremos diamétricos superiores de la curva (mitad superior de la clase 20-29 cm) y lo contrario sucede en edades avanzadas, en que el escaso crecimiento individual de los pies de las clases diamétricas 4ª y 5ª frenan el avance de las curvas de frecuencias sobre el eje de abscisas.

Las familias de curvas de frecuencia absoluta obtenidas por multiplicación de las series relativas por el número de pies por hectárea poblada para cada calidad y edad son las mostradas en las figuras 3, 4 y 5.

Las envolventes de las familias de curvas anteriores presentan, como es lógico, forma de J invertida y han sido estimadas de forma abreviada mediante las ecuaciones (fig. 6; tablas 2 y 3):

$$1/n_1 = -0,0041839 + 0,00138244 \cdot dn$$

$$R^2=0,98$$

$$1/n_3 = -0,0005376 + 0,00133767 \cdot dn$$

$$R^2=0,97$$

ni: número de pies de la masa inventariada (dn superior a 10 cm) por hectárea poblada para la calidad i.

La figura 7 muestra la evolución de la relación b/c en función de la edad de la masa. Hasta aproximadamente los 65 años en 1ª calidad y los 55 en 3ª, la principal tendencia de la masa es la de avance global de la población hacia diámetros Dg mayores, como lo demuestra el crecimiento del cociente. A partir de esa edad el cociente decrece revelando una mayor tendencia hacia la jerarquización interna de la población, con preponderancia del coeficiente c (forma) sobre el b (escala), siendo más marcada la tendencia en 3ª calidad a causa de las condiciones desfavorables en que

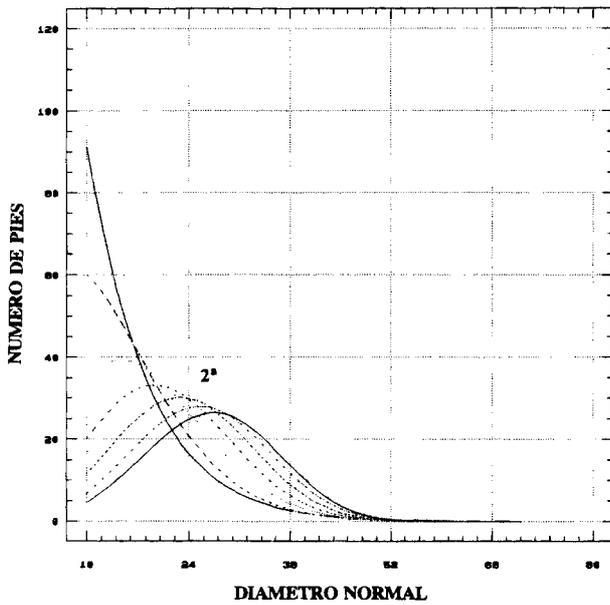


Figura 4. Familia de curvas de evolución de la estructura de la masa en función de la edad (40-100 años) para calidad 2ª.

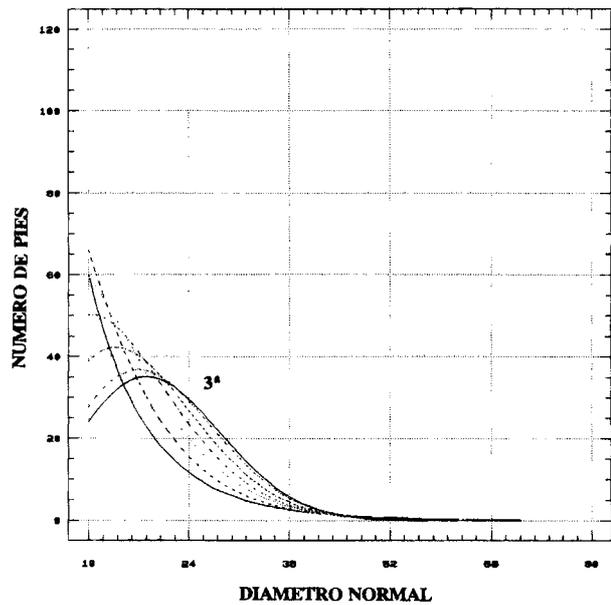


Figura 5. Familia de curvas de evolución de la estructura de la masa en función de la edad (40-100 años) para calidad 3ª.

vegeta la masa, como puede apreciarse en la pendiente de la curva.

La figura 8 muestra la estructura absoluta en 2ª y 3ª calidad, cuando la masa de 1ª calidad presenta una distribución normal, a la edad de 75 años. La figura 9 muestra las

estructuras comparadas a los 100 años.

### 3.2. Evolución del número de pies

La relación entre el diámetro de masa  $D_g$  y el número de pies inventariables  $n$  puede

Figura 6. Envolvente del cociente  $b/c$  en función de la edad y de la calidad de la masa.

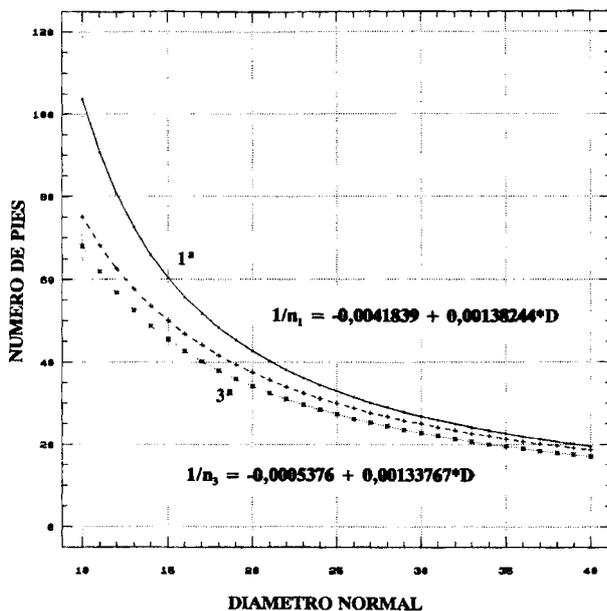
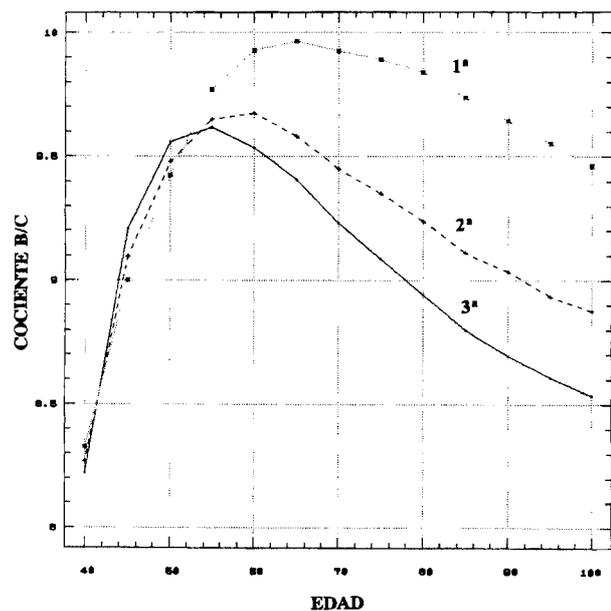


Figura 7: Evolución del cociente  $b/c$  en función de la edad y de la calidad de la masa.



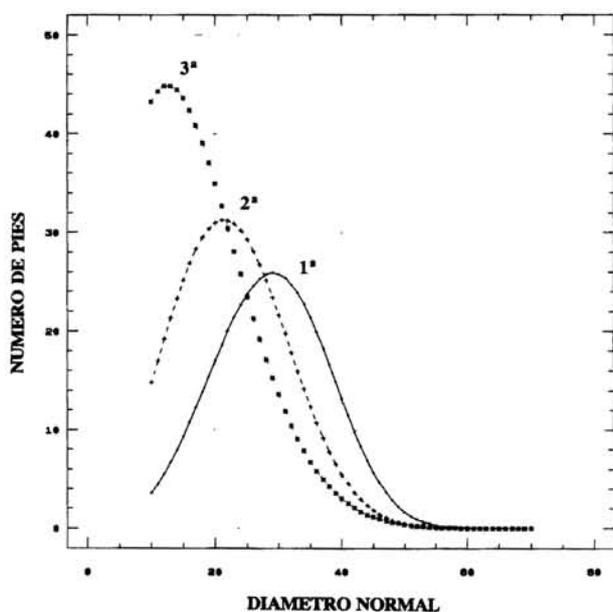


Figura 8. Estructura comparada de las masas de 1ª, 2ª y 3ª calidad cuando la de 1ª responde a la distribución normal ( $c = 3,6$ ).

ser expresada por las siguientes relaciones:

$$n_1 = 1/(-0,001418 + 0,000098.Dg) \quad R^2=0,83$$

$$n_3 = -10838,97.Dg^{0,5} + 4178,425161.Dg - 397,363688.Dg^{1,5} \quad R^2=0,99$$

Figura 9. Estructura comparada a la edad de 100 años

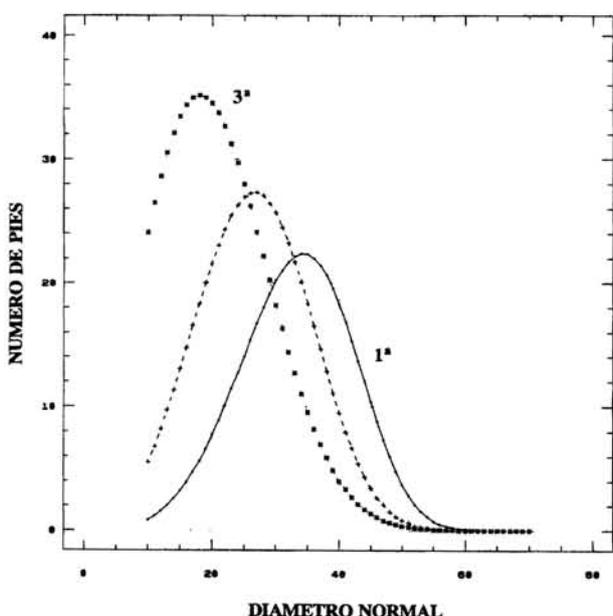


Tabla 2. Distribución teórica del número de pies  $n_j$  a la edad  $j$  para 3ª calidad en función de  $dn$ .

D	n <sub>50</sub>	n <sub>60</sub>	n <sub>70</sub>	n <sub>80</sub>	n <sub>90</sub>	n <sub>100</sub>
10	66	60	50	39	28	21
11	60	57	50	40	30	23
12	55	54	50	42	32	25
13	50	52	49	42	34	27
14	46	49	47	42	35	29
15	41	45	45	42	36	31
16	37	42	43	41	37	32
17	34	39	41	40	37	33
18	30	36	39	39	37	33
19	27	33	36	37	36	33
20	24	30	34	35	35	33
21	22	27	31	33	34	33
22	20	25	28	31	33	32
23	18	22	26	29	31	31
24	16	20	24	27	29	30
25	14	18	21	25	27	28
26	12	16	19	22	25	27
27	11	14	17	20	23	25
28	10	13	15	18	21	23
29	9	11	14	16	19	21
30	8	10	12	15	17	19
31	7	9	11	13	15	17
32	6	8	9	11	14	15
33	5	7	8	10	12	13
34	5	6	7	8	10	12
35	4	5	6	7	9	10
36	4	5	5	6	8	9
37	3	4	4	5	6	7
38	3	3	4	5	5	6
39	3	3	3	4	5	5
40	2	3	3	3	4	4
41	2	2	2	3	3	4
42	2	2	2	2	3	3
43	1	2	2	2	2	2
44	0	1	1	1	2	2
45	0	0	1	1	1	1
46	0	0	0	1	1	1
47	0	0	0	0	1	1
48	0	0	0	0	0	1

**Tabla 3.** Distribución teórica del número de pies  $n_j$  a la edad  $j$  en función de  $dn$  para 1ª calidad en función de  $dn$ .

dn	n <sub>50</sub>	n <sub>60</sub>	n <sub>70</sub>	n <sub>80</sub>	n <sub>90</sub>	n <sub>100</sub>
10	45	15	6	2	1	1
11	47	18	7	3	2	1
12	48	20	8	4	2	1
13	49	22	10	5	3	2
14	49	24	12	6	3	2
15	48	26	13	7	4	3
16	47	28	15	8	5	3
17	46	29	17	9	6	4
18	44	30	18	11	7	5
19	42	31	20	12	8	6
20	39	32	22	14	9	7
21	37	32	23	15	10	8
22	34	32	24	17	12	9
23	32	32	25	18	13	10
24	29	31	26	20	15	11
25	26	30	27	21	16	13
26	24	29	27	22	17	14
27	21	28	27	23	19	15
28	19	26	27	24	20	17
29	17	25	27	24	21	18
30	15	23	26	25	22	19
31	13	21	25	25	22	20
32	11	19	24	25	23	21
33	10	17	23	24	23	21
34	8	15	21	23	23	22
35	7	13	19	22	23	22
36	6	12	18	21	22	22
37	5	10	16	20	21	21
38	4	9	14	18	20	21
39	4	7	12	17	19	20
40	3	6	11	15	18	19
41	2	5	9	13	16	17
42	2	4	8	12	14	16
43	2	3	6	10	13	14
44	1	3	5	8	11	13
45	1	2	4	7	9	11
46	1	2	3	6	8	9
47	1	1	3	5	7	8
48	1	1	2	4	5	6
49	0	1	2	3	4	5
50	0	1	1	2	3	4
51	0	0	1	2	2	3
52	0	0	1	1	2	2
53	0	0	0	1	1	2
54	0	0	0	1	1	1
55	0	0	0	0	1	1
56	0	0	0	0	0	1
57	0	0	0	0	0	0

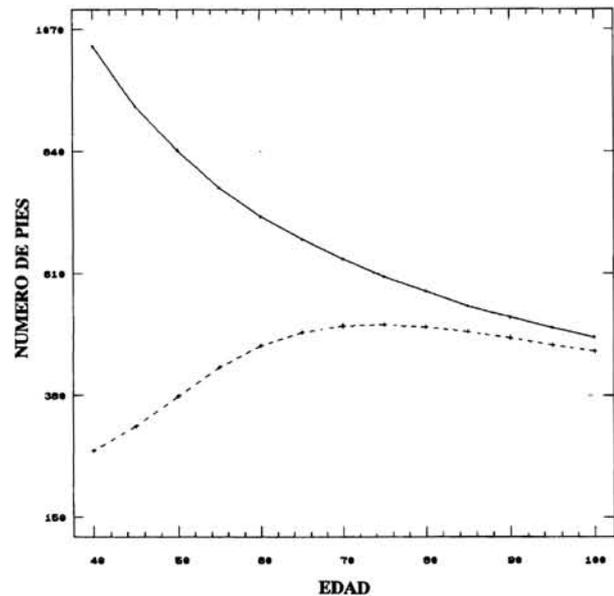
En la tabla 4 se muestran los valores encontrados para  $n_i$  y los estimados para  $N_i$  ( $dn$  superior a 20 cm) a partir de las curvas de distribución absoluta obtenidas por multiplicación de las relativas por  $n_i$ .

**Tabla 4.** Valores estimados del número de pies inventariables ( $n_i$ ) y número de pies mayores ( $N_i$ ) por ha. poblada para la calidad  $i$ .

E	n <sub>1</sub>	n <sub>3</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>3</sub>
40	1038	547	275	178
50	841	666	378	220
60	717	740	474	273
70	637	764	511	314
80	576	764	509	359
90	528	740	488	398
100	490	706	463	420

Las figuras 10, 11 y 12 muestran la evolución del número de pies inventariables y del número de pies mayores en función de la

**Figura 10.** Evolución del número de pies mayores (curva superior) y del número de pies inventariados (curva inferior) para 1ª calidad.



edad de la masa. El comportamiento de la masa inventariable es diferente entre las dos calidades extremas: mientras en 1ª el número disminuye con la edad de forma sostenida desde 1038 a los 40 años a 490 a los 100, en 3ª se dan incorporaciones procedentes de la masa de diámetro inferior a 10 cm superiores a las extracciones hasta la edad de 75 años, incrementándose el número de 547 a 767, a partir de la cual las extracciones resultan mayores y motivan la disminución global de pies inventariables hasta llegar a los 706 a la edad de 100 años.

Por lo que respecta a los pies mayores (dn superior a 20 cm), en 1ª calidad su número crece de 275 a los 40 años a 500 a los 75 años, al ser las incorporaciones procedentes de clases diamétricas inferiores de más cuantía que las extracciones. A partir de esa edad la situación se invierte y el número global de pies mayores disminuye hasta los 463 a los 100 años. A partir de los 85 años la convergencia entre  $n_1$  y  $N_1$  se hace notable. En 3ª calidad  $N_3$  aumenta durante los 100 años estudiados desde 178 a los 40 años a 420 a los 100 años.

En la figura 13 se han compuesto las evoluciones anteriores, que permiten apre-

ciar dos comportamientos a lo largo de la vida de la masa. Hasta aproximadamente los 60 años, la masa de 1ª calidad sustenta mayor número de pies que la de 3ª por las mayores densidades de regeneración de las que se parte. Las fuertes incorporaciones procedentes de clases diamétricas inferiores determinan aumento de pies inventariables en 3ª y lo contrario sucede en 1ª, por lo que se da la citada convergencia a los 60 años. A partir de ahí la masa de 3ª sustentará mayor número de pies que la de 1ª, más en consonancia con los patrones de las tablas de producción al uso. En general se aprecia convergencia entre calidades muy marcada a partir de los 100 años, en especial a partir de la clase diamétrica maderable (fig. 14).

### 3.3. Evolución del área basimétrica

La evolución del área basimétrica con la edad según calidades se presenta en las figuras 15, 16 y 17. Los valores discretos se muestran en la tabla 5. Lo anteriormente comentado con respecto a la relación entre incorporaciones de clases diamétricas infe-

Figura 11. Evolución del número de pies mayores (curva superior) y del número de pies inventariados (curva inferior) para 2ª calidad.

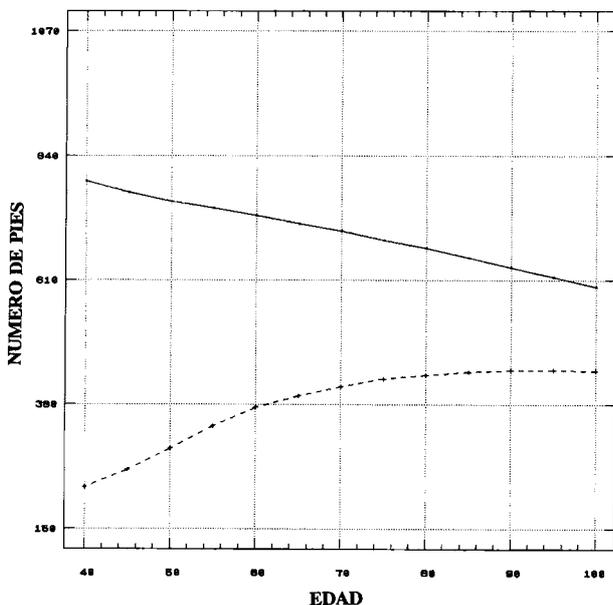
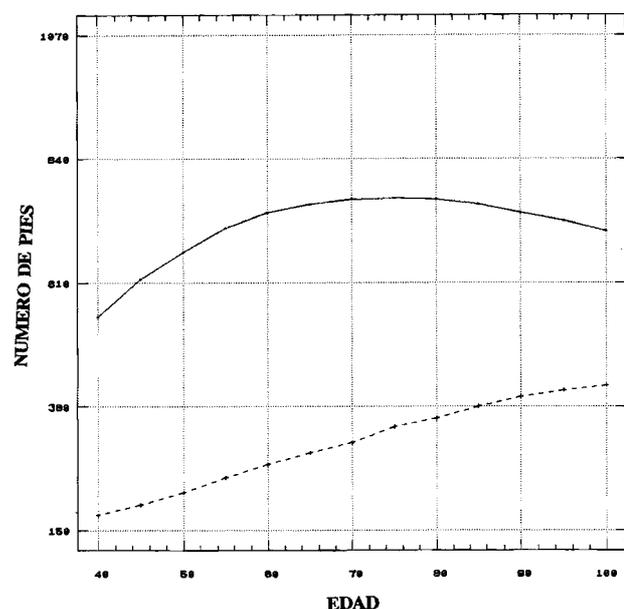


Figura 12. Evolución del número de pies mayores (curva superior) y del número de pies inventariados (curva inferior) para 3ª calidad.



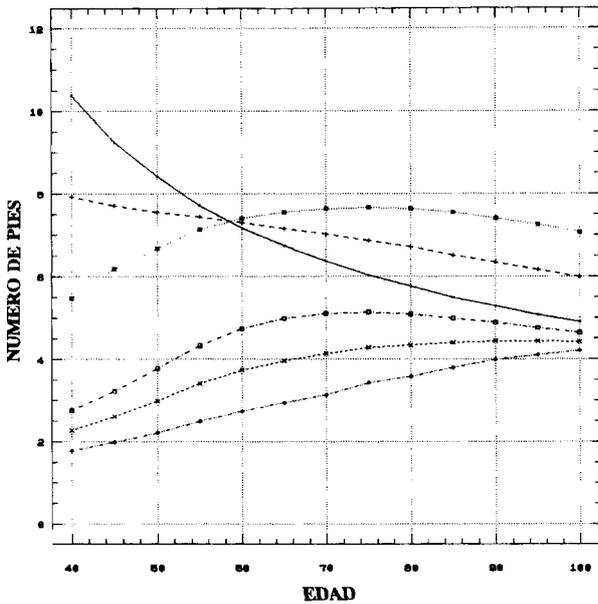


Figura 13. Evolución comparada del número de pies inventariables y del número de pies mayores en función de la edad y de la calidad

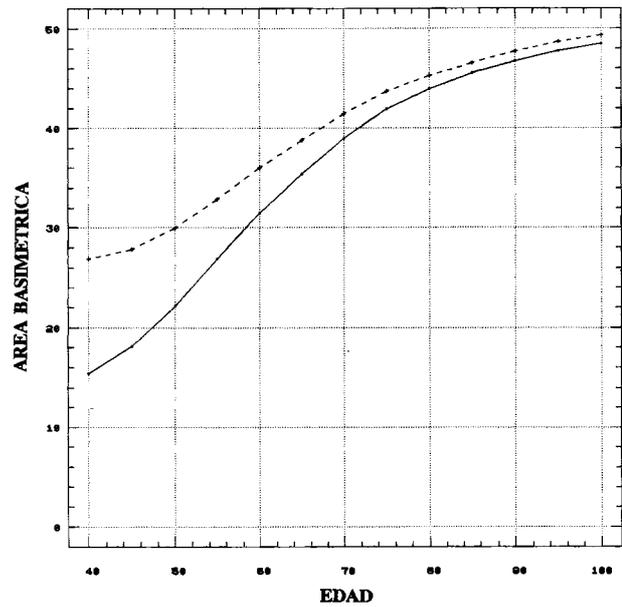


Figura 15. Evolución del área basimétrica de los pies inventariables (curva superior) y de los pies mayores (curva inferior) para 1ª calidad ( $m^2/ha$ ).

riores y las extracciones determinan la fuerte convergencia de  $ab_1$  y  $AB_1$  a partir de los 80 años. Para 1ª calidad se partiría de valores aproximados de 27 y 14  $m^2/ha$  poblada para  $ab_1$  y  $AB_1$  respectivamente, y se alcanzarían

a los 100 años valores cercanos a 50  $m^2/ha$  poblada. Para 3ª calidad la convergencia se lograría más tarde, pasando de 19 y 13  $m^2/ha$  poblada para  $ab_3$  y  $AB_3$  a los 40 años, a valores de 32 y 27 a los 100 años.

Figura 14. Evolución del número de pies mayores en función de la edad de la masa y de la calidad.

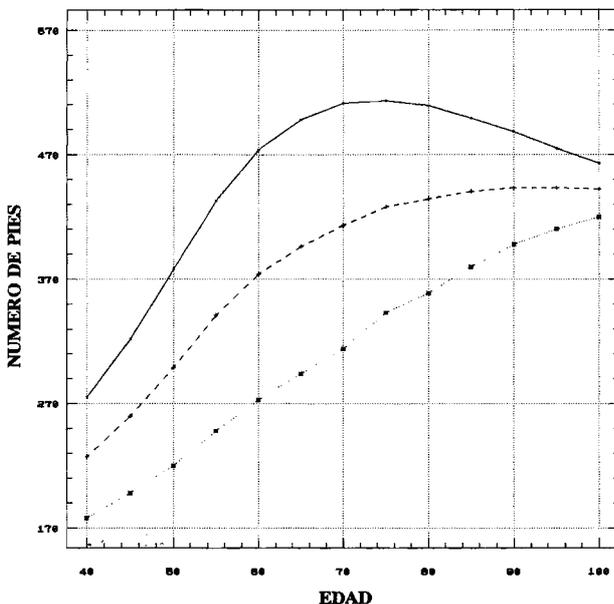
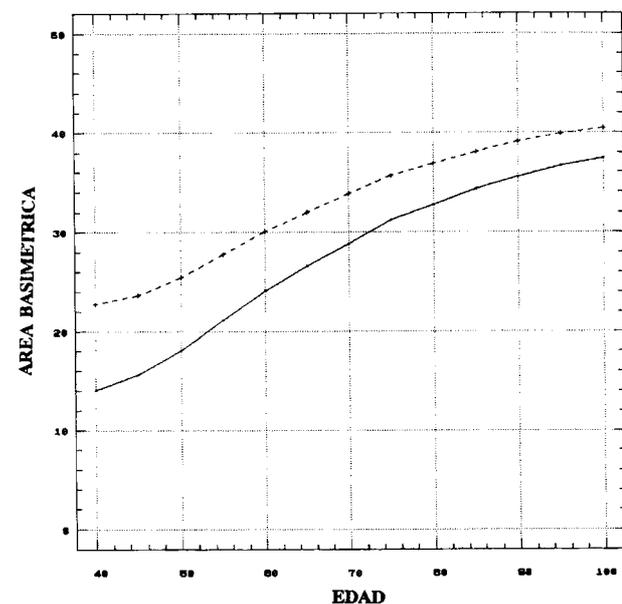


Figura 16. Evolución del área basimétrica de los pies inventariables (curva superior) y de los pies mayores (curva inferior) para 2ª calidad ( $m^2/ha$ ).



**Tabla 5.** Valores estimados del área basimétrica de la masa inventariable ( $ab_i$ ) y de la masa mayor ( $AB_i$ ) en  $m^2/ha$  poblada para las calidades  $i$ .

E	ab	ab <sub>3</sub>	AB <sub>1</sub>	AB <sub>3</sub>
40	26,89	18,58	15,37	12,75
50	29,97	20,93	22,11	14,07
60	36,03	24,11	31,53	16,65
70	41,45	26,18	38,98	18,79
80	45,29	28,45	43,94	21,55
90	47,67	30,47	46,67	24,44
100	49,30	31,58	48,50	26,39

**Tabla 6.** Valores estimados del volumen de la masa mayor ( $V_i$ ) en  $m^3$  c.c./ha poblada para las calidades  $i$ .

E	V <sub>1</sub>	V <sub>3</sub>
50	163	60
60	252	80
70	341	100
80	423	125
90	477	155
100	519	180

**3.4. Evolución del volumen**

La estimación del volumen ha sido realizada por suma directa de los volúmenes individuales de los individuos que componen la distribución diamétrica de la población. En este caso, las ecuaciones de previsión deben tener en cuenta que a igualdad de diámetro, un árbol cubica más al aumentar el diámetro

medio cuadrático de la masa de la que forma parte. Se proponen las siguientes expresiones para el volumen unitario  $V_u$  ( $m^3$ ) de un pie en función de su diámetro normal  $dn$  (cm) y del diámetro medio cuadrático de la masa  $Dg$  (cm), obtenidas a partir de los datos de los árboles tipo apeados en las sucesivas revisiones:

Figura 17. Evolución del área basimétrica de los pies inventariables (curva superior) y de los pies mayores (curva inferior) para 3ª calidad.

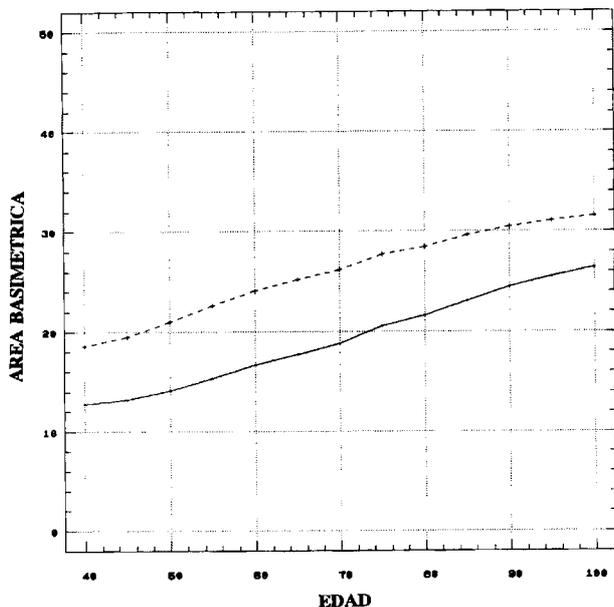
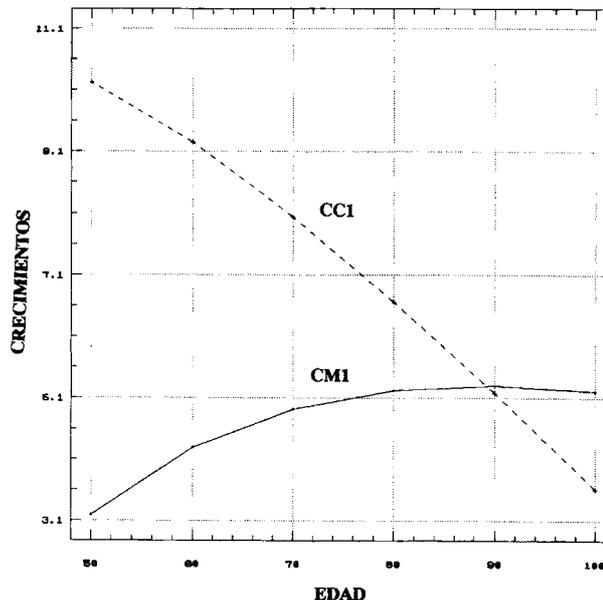


Figura 18. Evolución de los crecimientos medio y corriente en volumen ( $m^3/ha$  año) para la masa de 1ª calidad.



$$V_{u1} = 2,012316 - 0,067163.dn - 0,098716.Dg + 0,004007.(dn.Dg) \quad R^2=0,97$$

$$V_{u3} = 7,938607 - 0,244138.dn - 0,335339.Dg + 0,010918.(dn.Dg) \quad R^2=0,90$$

Para 3ª calidad se considera que hasta diámetros normales de 30 cm no existen diferencias significativas de valor modular con Dg, por lo que se toman los valores correspondientes a E=50 años.

Los valores resultantes de la estimación del volumen se muestran en la tabla 6. La estructura pormenorizada en volumen aparece en las tablas 7 y 8 para las calidades 1ª y 3ª.

### 3.5. Evolución de los crecimientos medio y corriente

La evolución de volumen de la tabla 6 puede describirse mediante las ecuaciones:

$$V_1 = -171,351876.E^{0,5} + 32,505967.E - 0,101646.E^2 \quad R^2=0,99$$

$$V_3 = 7,2459.E^{0,5} - 1,7475.E + 0,036.E^2 \quad R^2=0,99$$

A partir de esta expresión se han calculado las ecuaciones de variación de los crecimientos medio (CM<sub>i</sub>) y corriente (CC<sub>i</sub>) para cada calidad i. Para la 3ª calidad, y con vistas a la determinación del turno de máxima renta en especie, se han utilizado datos completados con observaciones de edad superior a 100 años procedentes de los tramos V de 3ª calidad del monte, al ser demasiado larga la extrapolación necesaria sobre comportamiento de la masa.

Las ecuaciones de crecimiento resultan:

$$CM_1 = V_1/E = -171,351876.E^{-0,5} + 32,505967 - 0,101646.E$$

$$CC_1 = dV_1/dE = -85,675938.E^{-0,5} + 32,505967 - 0,203292.E$$

$$CM_3 = V_3/E = -47,183158.E^{-0,5} + 8,709228 - 0,019191.E$$

$$CC_3 = dV_3/dE = -23,591579.E^{-0,5} + 8,709228 - 0,038382.E$$

Tabla 7. Estructura teórica en volumen V<sub>j</sub> (m<sup>3</sup>) de la masa para 1ª calidad y edad j.

dn	V <sub>50</sub>	V <sub>60</sub>	V <sub>70</sub>	V <sub>80</sub>	V <sub>90</sub>	V <sub>100</sub>
20	6,8	4,3	2,3	1,0	0,4	0,1
21	7,9	5,9	3,6	2,0	1,1	0,7
22	8,6	7,4	5,1	3,3	2,1	1,5
23	9,4	8,9	6,7	4,6	3,2	2,4
24	9,6	10,1	8,4	6,4	4,7	3,4
25	9,7	11,3	10,2	8,0	6,1	5,0
26	9,9	12,3	11,7	9,7	7,7	6,4
27	9,5	13,2	13,2	11,6	9,9	8,0
28	9,3	13,5	14,7	13,6	11,7	10,3
29	9,0	14,2	16,1	15,1	13,8	12,3
30	8,5	14,1	17,0	17,2	15,9	14,4
31	7,9	13,9	17,7	18,8	17,4	16,6
32	7,1	13,5	18,3	20,3	19,8	19,0
33	6,9	12,9	18,8	21,0	21,4	20,6
34	5,8	12,1	18,3	21,6	22,9	23,2
35	5,4	11,1	17,6	22,0	24,5	24,8
36	4,8	10,8	17,7	22,3	24,9	26,4
37	4,2	9,5	16,6	22,5	25,2	26,8
38	3,5	9,0	15,3	21,3	25,4	28,4
39	3,7	7,3	13,8	21,2	25,4	28,5
40	2,9	6,6	13,2	19,6	25,3	28,5
41	2,0	5,7	11,3	17,8	23,6	26,7
42	2,1	4,8	10,5	17,2	21,6	26,4
43	2,2	3,7	8,2	14,9	20,9	24,1
44	1,1	3,9	7,1	12,4	18,5	23,3
45	1,2	2,7	5,9	11,3	15,7	20,6
46	1,2	2,8	4,6	10,1	14,5	17,5
47	1,2	1,4	4,8	8,7	13,2	16,2
48	1,3	1,5	3,3	7,2	9,8	12,6
49	0	1,5	3,4	5,6	8,1	10,8
50	0	1,6	1,8	3,9	6,3	9,0
51	0	0	1,8	4,0	4,3	6,9
52	0	0	1,9	2,1	4,5	4,8
53	0	0	0	2,1	2,3	4,9
54	0	0	0	2,2	2,4	2,5
55	0	0	0	0	2,4	2,6
56	0	0	0	0	0	2,7
57	0	0	0	0	0	1

**Tabla 8.** Estructura teórica en volumen  $V_j$  ( $m^3$ ) de la masa para 3ª calidad y edad  $j$ .

dn	V <sub>50</sub>	V <sub>60</sub>	V <sub>70</sub>	V <sub>80</sub>	V <sub>90</sub>	V <sub>100</sub>
20	1,2	1,5	1,7	1,7	1,7	1,6
21	1,9	2,3	2,7	2,8	2,9	2,8
22	2,4	3,1	3,4	3,8	4,0	3,9
23	2,9	3,5	4,1	4,6	4,9	4,9
24	3,1	3,9	4,7	5,3	5,7	5,9
25	3,2	4,2	4,9	5,8	6,3	6,5
26	3,2	4,3	5,1	5,9	6,7	7,2
27	3,4	4,3	5,2	6,1	7,0	7,6
28	3,4	4,4	5,1	6,1	7,2	7,8
29	3,4	4,2	5,3	6,0	7,2	7,9
30	3,3	4,1	5,0	6,2	7,0	7,9
31	3,2	4,1	5,0	6,0	6,9	7,9
32	2,9	4,0	4,6	5,8	7,5	8,2
33	2,6	3,9	4,6	5,9	7,3	8,1
34	2,8	3,6	4,4	5,3	6,9	8,5
35	2,4	3,2	4,1	5,1	6,8	7,9
36	2,5	3,5	3,7	4,7	6,7	7,8
37	2,0	3,0	3,2	4,3	5,5	6,7
38	2,1	2,4	3,4	4,6	4,9	6,2
39	2,2	2,5	2,7	3,9	5,3	5,6
40	1,6	2,7	2,9	3,2	4,5	4,8
41	1,6	1,9	2,1	3,4	3,6	5,1
42	1,7	2,0	2,2	2,4	3,8	4,1
43	0,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9
44	0	1,1	1,2	1,3	2,9	3,0
45	0	0	1,3	1,4	1,5	1,6
46	0	0	0	1,4	1,6	1,7
47	0	0	0	0	1,7	1,8
48	0	0	0	0	0	1,8

Los valores obtenidos se muestran en la tabla 9 y las curvas de evolución en las figuras 17 y 18. Para 1ª calidad se pasa de valores de CM cercanos a 3 m<sup>3</sup>/ha/año a la edad de 50 años a cerca de 5 a los 100 años, con máximo en 5,3. Para la 3ª calidad CM pasa de valores cercanos a 1 m<sup>3</sup>/ha/año a 2,6 a los 100 años sin que se consiga el máximo en los primeros 100 años. Los valores de partida de CC a los 50 años son de 10,2 m<sup>3</sup>/ha/año para 1ª calidad y de 2 para la 3ª calidad. Los turnos óptimos serían de unos 90 años para 1ª calidad y de unos 120 para la 3ª.

**Tabla 9.** Valores estimados del crecimiento ( $CM_j$ ) y del crecimiento corriente ( $CC_j$ ) de la masa mayor en m<sup>3</sup>/ha/año para la calidad  $i$ .

E	CM <sub>1</sub>	CM <sub>3</sub>	CC <sub>1</sub>	CC <sub>3</sub>
50	3,19	1,08	10,22	2,20
60	4,29	1,35	9,25	3,00
70	4,91	1,64	8,04	3,60
80	5,22	1,94	6,66	4,20
90	5,30	2,26	5,18	5,00
100	5,21	2,58	3,61	5,40

### 3.6. Evolución del valor de la masa

El valor de la masa en función de la edad se ha determinado aplicando a las series de frecuencias absolutas de estructura de masa los índices de precio ( $IP_j$ ) por m<sup>3</sup> calculados con las siguientes ecuaciones, estimadas a partir de los valores medios de venta de la madera del monte en los últimos 3 años ( $IP=100$  para  $dn=20$  cm en 1ª calidad):

$$IP_1 = 242,35 \cdot dn^{0,5} + 67,95 \cdot dn - 0,44 \cdot dn^2$$

$$IP_3 = 173,05 \cdot dn^{0,5} + 49,80 \cdot dn^2$$

Aplicando los índices de precio anteriores a las series volumétricas por diámetros, se obtuvieron los índices de valor de masa IVA<sub>j</sub> a la edad  $j$  (100 para Edad 50) cuyos valores aparecen en la tabla 10. A precios

actuales del último trienio (valor 100 de IP1 corresponde a 1776 ptas./m<sup>3</sup> para dn=20 cm en 1ª calidad), se muestra en la columna «Ptas.» el valor actual de la hectárea poblada de masa. El cálculo de los crecimientos medio y corriente de IVAi demuestran que para 1ª calidad el turno de máxima renta en valor de la madera se obtendría aproximadamente a los 120 años.

**Tabla 10.** Valores estimados del valor actual de la masa (columna «Ptas»), del índice de valor de la masa (columna «IVA» con IVA=100 para E=50 años), crecimiento medio del índice de valor (columna «CMIVA»), crecimiento corriente del índice de valor (columna «CCIVA») y precio del metro cúbico (columna «Ptas/m<sup>3</sup>») para 1ª calidad.

E	Ptas.	IVA	CMIVA	CCIVA	Ptas/m <sup>3</sup>
50	861.560	100	2,00		5.286
60	1.520.751	177	2,95	7,7	6.034
70	2.306.821	268	3,82	9,1	6.765
80	3.117.246	362	4,52	9,4	7.369
90	3.703.289	430	4,77	6,8	7.763
100	4.172.264	484	4,84	5,4	8.039

**Tabla 11.** Valores estimados del valor actual de la masa (columna «Ptas»), del índice de valor de la masa (columna «IVA» con IVA=100 para E=50 años), crecimiento medio del índice de valor (columna «CMIVA»), crecimiento corriente del índice de valor (columna «CCIVA») y precio del metro cúbico (columna «Ptas/m<sup>3</sup>») para 3ª calidad.

E	Ptas.	IVA	CMIVA	CCIVA	Ptas/m <sup>3</sup>
50	272.553	100	2,00		4.542
60	370.745	136	2,27	3,6	4.634
70	470.340	173	2,47	3,7	4.703
80	628.577	231	2,89	5,8	5.028
90	814.521	299	3,32	6,8	5.255
100	978.121	359	3,59	6,00	5.434

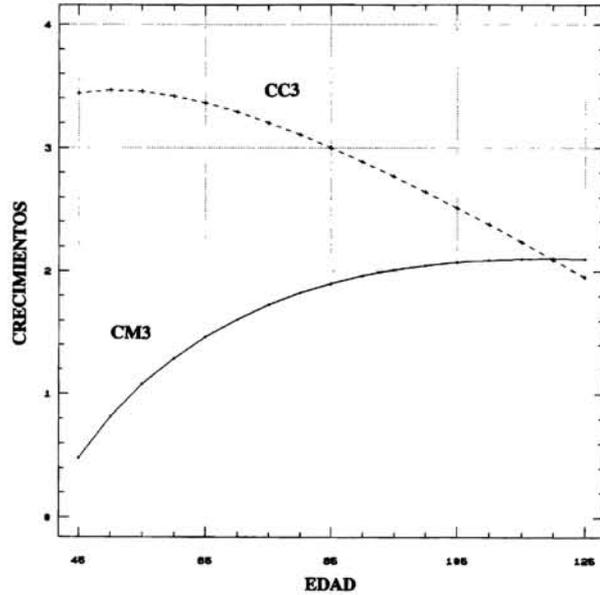
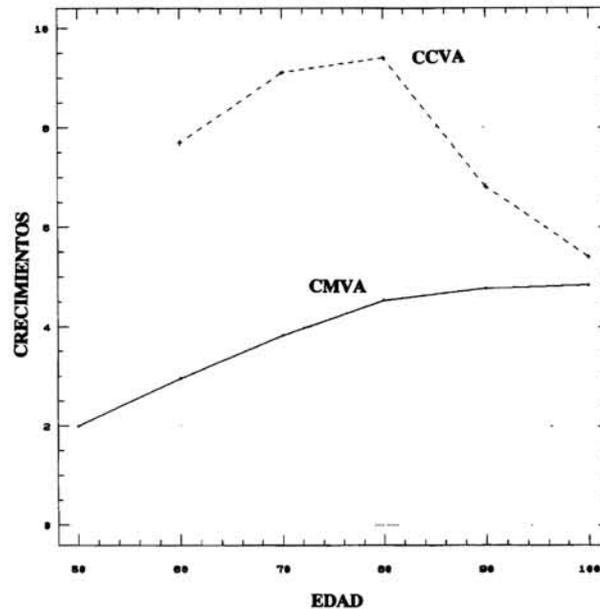


Figura 19. Evolución de los crecimientos medio y corriente en volumen (m<sup>3</sup>/ha) para la masa de 3ª calidad.

Los índices de valor (IVAj) de la masa (100 para edad 50 años) llegan a 489 a los 100 años para 1ª calidad y a 359 para 3ª. A precios actuales del último trienio (índice 100 = 1776 ptas./m<sup>3</sup>) el valor de la masa de

Figura 20. Evolución de los crecimientos medio y corriente en índice de valor (unidades arbitrarias) para masa de 1ª calidad.



**Tabla 12.** Estructura en valor actual  $V_{aj}$  de la masa en función del diámetro  $dn$  a la edad  $j$  para 1ª calidad.

dn	V <sub>50</sub>	V <sub>60</sub>	V <sub>70</sub>	V <sub>80</sub>	V <sub>90</sub>	V <sub>100</sub>
20	12.084	7.641	4.087	1.777	711	178
21	17.293	12.915	7.880	4.378	2.408	1.532
22	22.343	19.225	13.250	8.573	5.456	3.897
23	28.209	26.709	20.107	13.805	9.603	7.202
24	32.621	34.320	28.543	21.747	15.971	11.553
25	36.753	42.816	38.648	30.312	23.113	18.945
26	41.313	51.328	48.824	40.478	32.132	26.707
27	43.216	60.047	60.047	52.768	45.035	36.392
28	45.737	66.393	72.295	66.885	57.541	50.655
29	47.502	74.948	84.976	79.698	72.836	64.919
30	47.847	79.369	95.693	96.819	89.501	81.058
31	47.179	83.011	105.704	112.274	103.913	99.135
32	44.766	85.118	115.382	127.992	124.839	119.795
33	45.740	85.514	124.625	139.209	141.861	136.557
34	40.269	84.010	127.057	149.969	158.995	161.078
35	39.128	80.431	127.530	159.412	177.527	179.701
36	36.187	81.421	133.440	168.120	187.721	199.030
37	32.852	74.309	129.845	175.995	197.114	209.630
38	28.329	72.846	123.838	172.402	205.588	229.870
39	30.914	60.992	115.299	177.126	212.217	238.118
40	24.955	56.793	113.586	168.658	217.707	245.243
41	17.686	50.405	99.926	157.405	208.695	236.108
42	19.047	43.536	95.235	156.004	195.912	239.448
43	20.429	34.358	76.145	138.361	194.077	223.793
44	10.438	37.007	67.372	117.664	175.547	221.094
45	11.617	26.139	57.118	109.395	151.992	199.429
46	11.833	27.611	45.361	99.596	142.985	172.568
47	12.034	14.039	48.134	87.244	132.370	162.454
48	13.239	15.276	33.607	73.325	99.803	128.318
49	0	15.491	35.112	57.831	83.649	111.532
50	0	16.733	18.824	40.786	65.885	94.122
51	0	0	19.037	42.304	45.477	72.974
52	0	0	20.294	22.430	48.065	51.269
53	0	0	0	22.625	24.780	52.793
54	0	0	0	23.879	26.050	27.135
55	0	0	0	0	26.213	28.397
56	0	0	0	0	0	29.635
57	0	0	0	0	0	0
58	0	0	0	0	0	0

**Tabla 13.** Estructura teórica en valor  $V_{aj}$  (ptas.) de la masa de 3ª calidad a la edad en función de  $dn$ .

dn	V <sub>50</sub>	V <sub>60</sub>	V <sub>70</sub>	V <sub>80</sub>	V <sub>90</sub>	V <sub>100</sub>
20	1.976	2.471	2.800	2.800	2.800	2.635
21	3.716	4.499	5.281	5.477	5.672	5.477
22	5.429	7.012	7.691	8.596	9.048	8.822
23	7.436	8.974	10.512	11.794	12.564	12.564
24	8.872	11.162	13.451	15.169	16.313	16.886
25	10.093	13.247	15.4555	18.293	19.870	20.501
26	11.011	14.796	17.549	20.302	23.055	24.775
27	12.658	16.009	19.360	22.710	26.061	28.295
28	13.593	17.591	20.390	24.388	28.786	31.184
29	14.508	17.921	22.615	25.602	30.722	33.709
30	14.949	18.573	22.650	28.086	31.710	35.787
31	15.312	19.619	23.925	28.710	33.017	37.802
32	14.599	20.136	23.156	29.197	37.755	41.279
33	13.715	20.573	24.265	31.123	38.508	42.728
34	15.425	19.832	24.240	29.198	38.012	46.827
35	13.766	18.355	23.518	29.254	39.005	45.314
36	14.885	20.839	22.030	27.984	39.892	46.441
37	12.330	18.495	19.728	26.510	33.908	41.306
38	13.373	15.283	21.651	29.293	31.203	39.482
39	14.436	16.405	17.717	25.592	34.779	36.747
40	10.797	18.220	19.569	21.594	30.366	32.390
41	11.082	13.159	14.545	23.548	24.934	35.323
42	12.062	14.190	15.609	17.028	26.961	29.090
43	6.530	15.236	16.687	18.138	19.589	21.040
44	0	8.148	8.888	9.629	21.480	22.221
45	0	0	9.814	10.569	11.324	12.078
46	0	0	0	10.756	12.293	13.061
47	0	0	0	0	13.274	14.054
48	0	0	0	0	0	14.263

1ª calidad llega a unos 4 millones de pesetas por hectárea poblada a los 100 años (unas 8.000 ptas./m<sup>3</sup>). Para 3ª calidad el valor a los 100 años sería acercano a 1 millón de pesetas por hectárea poblada -unas 5.500 ptas./m<sup>3</sup>- (ver tabla 11).

Las tablas 12 y 13 muestran la estructura en valor VAj de las masas de 1ª y 3ª calidad a la edad j.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAILEY, R.L.; 1974. Computer programs for quantifying diameter distributions with the Weibull function. *Forest Science*, 20: 229.
- BAILEY, R.L.; 1980. Individual tree growth derived from diameter distribution models. *Forest Science*, 26(4): 626-632.
- BAILEY, R.L. & T.R. DELL; 1973. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. *Forest Science*, 19(2): 97-104.
- BONNER, F.T. & T.R. DELL; 1976. The Weibull function: A new method of comparing seed vigor. *Journ. Seed Techn.*, 1: 97-103.
- CASTILLA, G. & A. PRIETO; 1992. Desarrollo y utilización de un simulador de producción de madera para masas de *Pinus radiata* en el País Vasco. *Investigación Agraria. Serie Sistemas y Recursos Forestales*, 1(2): 189-209.
- CASTRO L. DE; 1895. *Proyecto de ordenación del monte «Pinar de Navafria»*. Cuerpo de Ingenieros de Montes. Servicio de Ordenaciones. Documento inédito. Segovia.
- CHEN, C.M. & D.W. ROSE; 1978. *Direct and indirect estimation of height distribution in even-aged stands*. Minnesota Forestry Research Notes n°267.
- PRIETO, A., J. FERRANDO, A. SÁEZ & P. BERNARDI; 1991. *Novena revisión del proyecto de ordenación del monte n° 198 del C.U.P. de la provincia de Segovia «Pinar de Navafria» de la Comunidad de Villa y Tierra de Pedraza*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes y Servicio Territorial de Medio Ambiente y O.T. de la Junta de Castilla y León en Segovia. Documento inédito. Segovia.
- FERRANDO, J.; 1969. *Séptima revisión del proyecto de ordenación del monte 198 del C.U.P. de la provincia de Segovia «Pinar de Navafria» de la Comunidad de Villa y Tierra de Pedraza*. Distrito Forestal de Segovia. Documento inédito. Segovia.
- FERRANDO, J.; 1984. *Octava revisión del proyecto de ordenación del monte 198 del C.U.P. de la provincia de Segovia «Pinar de Navafria» de la Comunidad de Villa y Tierra de Pedraza*. Servicio de Agricultura Ganadería y Montes. Junta de Castilla y León. Documento inédito. Segovia.
- FISHER, R.A. & L.H.C. TIPPET; 1928. Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample. *24th. Camb. Philos. Soc. Proc.*, 1927: 180-190.
- GARCÍA LÓPEZ, J.M.; 1993. Testing a model of structural evolution in stands of *Pinus sylvestris* L. from the Sistema Central (Spain). Observations on programming of thinnings and rotation selection. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*, fuera de serie n°3: 165-179.
- GARCÍA LÓPEZ, J.M.; 1994. Evolución de un medio forestal intervenido. Un siglo de ordenación en el «Pinar de Navafria» (1895-1994). *Montes*, 36: 58-64.
- GARCÍA LÓPEZ, J.M., A. PRIETO & A. HERNAN-DO; 1993. Effects of silvicultural methods upon the structural evolution of a stand of *Pinus sylvestris* L. in the Sistema Central (1895-1988). Evaluation of lag. *Investigación Agraria. Serie Sistemas y Recursos Forestales*, fuera de serie n°3: 295-307.
- GLOVER, G.R. & J.N. HOOL; 1979. A basal area ratio predictor of loblolly pine plantation mortality. *Forest Science*, 25: 275-282.
- HAFLEY, W.L. & H.T. SCHREUDER; 1977. Statistical distributions for fitting diameter and height data in even-aged stands. *Canad.*

*Journ. Res.*, 7: 481-487.

MADRIGAL, A.; 1969. *Aplicación de los inventarios forestales por muestreo en las masas de Pinus sylvestris de la Cordillera Central*. IFIE. Comunicación nº40. Madrid.

MARTÍN DUQUE, J.F.; 1992. Nuevos datos sobre el glaciario pleistoceno en la Sierra de Guadarrama: los glaciares del Arroyo de las Pozas y el Arroyo del Chorro y el Circo pantanoso de las Regajeras. En: *Estudios de Geomorfología de España. II Reunión Nacional de Geomorfología*: 393-401.

MARTÍNEZ DE PISÓN, M.; 1940. *Cuarta revisión del proyecto de ordenación del monte 198 del C.U.P. de la provincia de Segovia «Pinar de Navafría» de la Comunidad de Villa y Tierra de Pedraza*. Distrito Forestal de Segovia. Documento inédito. Segovia.

MARTÍNEZ DE PISÓN, M.; 1948. *Defensa del método denominado «Ordenar Transformando»*. Sección de Publicaciones de la Escuela Especial de Ingenieros de Montes. Madrid.

PITA, P.A.; 1973. *El inventario en la ordenación de los montes*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid.

RINK, G., T.R. DELL, G. SWITZER & F.T. BONNER; 1979. Use of the Weibull function to quantify sweetgum germination data. *Silva Genetica*, 28: 9-12.

SAÍNZ MARGARETO, M.; 1949. *Quinta Revisión del Proyecto de Ordenación del monte 198 del C.U.P. de la provincia de Segovia «Pinar de Navafría» de la Comunidad de Villa y Tierra de Pedraza*.

Distrito Forestal de Segovia. Documento inédito. Segovia.

SAÍNZ MARGARETO, M.; 1959. *Sexta Revisión del Proyecto de Ordenación del monte 198 del C.U.P. de la provincia de Segovia «Pinar de Navafría» de la Comunidad de Villa y Tierra de Pedraza*. Distrito Forestal de Segovia. Documento inédito. Segovia.

SAÍNZ MARGARETO, M.; 1963. Método de «Ordenar Transformando» en el monte «Pinar de Navafría». En: SECRETARÍA DE LA II ASAMBLEA TÉCNICA FORESTAL (ed.); *Actas de la II Asamblea Técnica Forestal*. Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial. Ministerio de Agricultura. Madrid: 168-179.

SHIFLEY, D. & E. LENTZ; 1985. Quick estimation of the three parameter Weibull to describe tree size distributions. *Forest Ecology and Management*, 13: 195-203.

SOMERS, G.L., R.G. ODERWALD, W.R. HARMS & O.G. LANGDON; 1980. Predicting mortality with a Weibull function. *Forest Science*, 26: 291-300.

WEIBULL, W.; 1939. A statistical theory of the strength of material. *Ing. Vrtensk. Akad. Handl.* nº 153.

ZUTTER, B.R., R.G. ODERWALD, R.M. FARRAR & P.A. MURPHY; 1982. WEIBULL, a program to estimate parameters of forms of the Weibull distribution using complete, censored and truncated data. School of Forestry and Wildlife Resources. Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg. Publication FWS-3-82. Virginia.